

Method and apparatus for controlled generation of hydrogen by dissociation of water

Publication number: CN1441750 (A)

Publication date: 2003-09-10

Inventor(s): BALWIN EDWARD W [US]; WHITE RUSSEL P [US]

Applicant(s): HYDROGEN ENERGY AMERICA LLC [US]

Classification:

- international: *B01J7/02; B01J10/00; B01J19/00;
B01J19/24; C01B3/06; C01B3/08;
B01J7/00; B01J10/00; B01J19/00;
B01J19/24; C01B3/00; (IPC1-7): C01B3/08*

- European: B01J7/02; B01J10/00P; B01J19/00B;
B01J19/24; C01B3/06; C01B3/08

Application number: CN20018012670 20010713

Priority number(s): US20000217983P 20000713

Also published as:

CN1309656 (C)

WO0206153 (A1)

JP2004504243 (T)

EP1299306 (A1)

CA2415876 (A1)

[more >>](#)

Abstract not available for CN 1441750 (A)

Abstract of corresponding document: **WO 0206153 (A1)**

The invention relates to a method and apparatus for controlling the dissociation of water into hydrogen and oxygen, the method including contacting a quantity of aqueous liquid with a quantity of dissociation initiating material in a reaction vessel; monitoring the temperature and/or pressure in the reaction vessel; monitoring the surface area of dissociation initiating material in contact with the aqueous liquid; and controlling the surface area of dissociation initiating material in contact with the aqueous liquid in response to the temperature, pressure, or both, or changes therein, or both, in the reaction vessel.



Data supplied from the **esp@cenet** database — Worldwide



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 01812670.7

D4

[43] 公开日 2003 年 9 月 10 日

[11] 公开号 CN 1441750A

[22] 申请日 2001.7.13 [21] 申请号 01812670.7

[30] 优先权

[32] 2000.7.13 [33] US [31] 60/217,983

[86] 国际申请 PCT/US01/22142 2001.7.13

[87] 国际公布 WO02/06153 英 2002.1.24

[85] 进入国家阶段日期 2003.1.13

[71] 申请人 美国氢能有限责任公司

地址 美国内华达州

[72] 发明人 爱德华 W 鲍尔温

拉塞尔 · P · 怀特 · JR

[74] 专利代理机构 北京金信联合知识产权代理有限公司

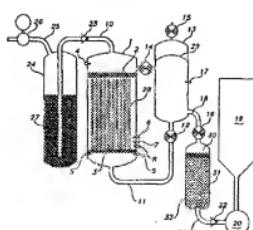
代理人 朱梅

权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图 8 页

[54] 发明名称 用于控制水分解生成氢气的方法和设备

[57] 摘要

本发明涉及一种控制分解水形成氢气和氧的方法和设备，该方法包括将一定量的含水液体同一定量的分解引发物质在一个反应容器内接触；监测反应容器内的温度和/或压力；监测和含水液体接触的分解引发物质的表面积；和控制和含水液体接触的分解引发物质的表面积以响应反应容器内的温度或压力或者温度和压力，或者响应它们的变化。



ISSN 1 0 0 8 - 4 2 7 4

5 1.用于控制水分解成氢气和氧的方法，包括：
在反应容器中将一定量的含水液体同一定量的分解引发物质接触；
监测反应容器内的温度或压力或者温度和压力；
监测和含水液体接触的分解引发物质的表面面积；和
控制和含水液体接触的分解引发物质的表面面积以响应反应容器内的温
度或压力或者温度和压力，或者响应它们的变化。

10 2.根据权利要求1的方法，其中和含水液体接触的分解引发物质的表面面积
的监测包括监测反应容器中含水液体的液面。

3.根据权利要求2的方法，其中和含水液体接触的分解引发物质的表面面积
的控制包括调节反应容器中含水液体的液面。

15 4.根据权利要求3的方法，其中将一定量的含水液体同一定量的分解引发物
质接触，包括将含水液体引入反应容器，和其中反应容器中含水液体液面的调
节包括改变含水液体引入反应容器中的速度。

5.根据权利要求3的方法，其中反应容器中含水液体液面的调节包括推动含
水液体排出反应容器作为对反应器内压力增加的响应。

20 6.根据权利要求5的方法，其中通过在反应容器和另一个与反应容器进行流
体交换的容器之间的压差使含水液体离开反应容器。

7.根据权利要求5的方法，其中通过泵使含水液体离开反应容器。

8.根据权利要求1的方法，其中含水液体包括碱金属氢氧化物的水溶液。

9.根据权利要求8的方法，其中碱金属氢氧化物是氢氧化钠。

25 10.根据权利要求9的方法，其中水溶液含有氢氧化钠，浓度范围从约4至约
10 M。

11.根据权利要求1的方法，其中分解引发物质是金属或者金属化合物，其
选自铝、钠和铝的合金、铁、锌、钠；以及碱金属和碱土金属氢化物。

12.根据权利要求11的方法，其中分解引发物质是铝。

30 13.根据权利要求1的方法，其中含水液体是氢氧化钠水溶液，分解引发物
质是铝。

14.用于控制分解水生产氢气的设备，包括：
反应容器，具有进口和出口，并且适合容纳分解引发物质；

与反应容器有流体交换的溶液储罐，包括一个将储罐分隔成第一隔室和第二隔室的可移动的隔板；

在反应容器中设置的至少一个压力传感器，或者至少一个温度传感器、或者都包括；

5 设置在反应容器中的至少一个液面传感器；

设置在反应容器和溶液储罐第一隔室之间的至少一个可控制的阀；

设置在溶液储罐第二隔室和恒压源之间的至少一个可控制的阀；

15.根据权利要求14的设备，还包括设置在反应容器中的至少一个温度传感器。

10 16.根据权利要求14的设备，还包括设置在反应容器中的至少一个压力传感器。

17.根据权利要求14的设备，还包括与反应容器交换流体的氢气储罐。

18.根据权利要求14的设备，还包括一个同溶液储罐第一隔室交换流体的含水液体的源。

用于控制水分解生成氢气的方法和设备

5 技术领域

本发明涉及一种以控制的方式分解水生成氢气的方法和设备。该方法和设备的受控特性可以使人们按照需要制氢，使得该设备和方法适于生产多种用途的氢气。

现有技术

10 本申请要求2000年7月13日提交的临时专利申请序列号60/217983的权益，在此并入其全部内容作为参考。

氢气可通过许多已知的化学反应生产。例如，已知根据下述反应，金属与无机酸反应可以生产氢气和一种金属化合物：



15 使用锌和铁与盐酸和硫酸反应的实例是：



钾（K）、钠（Na）、钙（Ca）、镁（Mg）、铝（Al）、锌（Zn）、铁（Fe）和铅（Pb）属于那些与稀无机酸反应产生氢气的金属。

20 在本领域还已知碱金属和碱土金属可以与水起化学反应形成氢气和相应的碱金属或碱土金属氢氧化物。然而这个反应一般是迅速而强烈的，有时是猛烈的。其产生大量的热，并且生成的氢气经常爆炸。

例如，钠和钙金属与水猛烈地反应生成热，释放出氢气，并形成金属氢氧化物；



诸如氯化钙和硼氢化钠的一些氢化物与水反应放出氢气：



30 还已知某些碱金属氢氧化物在水溶液与金属反应形成中间体化合物并释放氢气。氢氧化钠、氢氧化钾和氢氧化锂等与铝、锌、硅铁、铅等反应产生热，放出氢气并形成中间体化合物。在文献中，例如：



几乎毫无例外，这些反应是猛烈的并且本质上是放热的，产生非常大量的热。该反应不受控制的特性可以将温度提高到可点燃生成的氢气、导致爆炸的程度。

在美国专利3821358、3928549、4011305、3969495、3574561、4182748、5 4207095、4287169和4289744中描述了许多封闭式循环，经常是多步骤工艺过程，其将水分解为氢气或分解为氢气和氧气。特别令人感兴趣的是美国专利5817157和5782464（Checketts），以及美国专利5690902（Werth）。Checketts的专利要将一系列涂敷过的小钠球在需要时加入反应器中的水里，除去涂层，钠可以与水反应形成氢气和碱金属氢氧化物。为了使这个方案产生足够的氢气10 用于任何实际的目的，钠小球可能必须是可与水迅速强烈地反应这样的尺寸，反应时产生大量的热，后者会将反应温度升高到使生成的氢气可能自爆的程度。虽然理论上正确的，Checketts的专利未能满足实际应用。

Werth的专利通过水与氧化铁颗粒反应产生氢气，反应在升高的温度及所谓催化剂氢氧化钾存在下进行。实际上，碱金属氢氧化物溶液将与铁反应形成15 氢气、碱金属氢氧化物和氧化铁。因此氢氧化钾不是催化剂，而是涉及了该化学反应。因氧化铁在铁颗粒表面上形成，它们不再受到氢氧化物或水的进一步作用，需要不断地更换新鲜的铁颗粒，而大部分铁是未反应的。虽然在基础理论上也是正确的，Werth的专利同样未能满足实际应用。

为了利用热-化学分解水生产氢气的任何或全部可能的方法，需要控制反20 应，以便在特定压力输送单位时间特定体积的氢气用于实际应用。本申请的发明涉及了这样的控制方法。

发明内容

本发明涉及一种用于控制氢气释放的方法和设备，其可用于任何或所有分25 解水放出氢气的热化学反应。在一个特定的实施方案中，其可用于铝金属、氢氧化钠和水化合生成氢气的反应。

在一个实施方案中，本发明涉及用于控制水分解为氢气和氧的方法，通过一定量的含水液体与一定量的分解引发物质在反应容器中接触，监测反应容器中的温度或压力或温度和压力，监测与含水液体接触的分解引发物质的表面积，以及控制分解引发物质与含水液体接触的表面积使其与反应容器中温度、30 压力或温度和压力响应或与其变化响应。含水液体的引入和与含水液体接触的分解引发物质的表面积的控制可以多种不同的方式实现，这将在下文更具体地说明。根据用于生产氢气的特定反应，分解引发物质和含水液体的性质可以变化。一种适合的结合是使用氢氧化钠水溶液作为含水液体，金属铝作为分解引发物质。

在另一个实施方案中，本发明涉及一种用于分解水控制性地生产氢气的设备，其具有：

反应容器，具有一进口和一出口，并且适合容纳分解引发物质；

溶液储器，位于包括反应容器的流体通道中，包括可移动的挡板，将储器分隔成第一室和第二室；

至少一个压力传感器、至少一个温度传感器，或两者都有，其设置在反应容器中；

至少一个液面传感器，设置在反应容器中；

至少一个可控制的阀，设置在反应容器和溶液储器第一室之间；

10 至少一个可控制的阀，设置在溶液储器第二室和恒压源之间。

调节和含水液体接触的分解引发物质的表面积，能够小心地控制对于氢气制备是放热的、可能爆炸的反应，有效生产所需的控制量的氢气。本发明因此提供了一种方法，可以在例如交通工具上进行，用于生产燃料氢气，例如通过将氢气与空气混合然后直接燃烧，或通过在燃烧室中使用氢气。

15 附图说明

图1是本发明一种实施方案的设备和方法的原理图，使用喷嘴将含水液体引入反应容器。

图2是本发明另一个实施方案的设备和方法的原理图，用反应容器的压力调节含水液体的液面。

20 图3是本发明一种可供选择的实施方案的原理图，可在更小的空间使用更大表面积的分解引发物质。

图4是本发明另一个可供选择的实施方案的原理图，其中多个反应器并联设置。

图5表示在两个不同温度水的分解率随氢氧化钠浓度的变化。

25 图6表示在特定的氢氧化钠浓度下水的分解率随温度的变化。

图7表示在不同于图6所示的氢氧化钠浓度下水的分解率随温度的变化。

图8是本发明一种实施方案的原理图，使用泵控制液位。

具体实施方式

本发明的方法和设备可用于不同的含水液体，包括碱水溶液，诸如碱金属30 氢氧化物；无机酸水溶液，诸如硫酸或氢卤酸；以及水；条件是含水液体能够与选择的分解引发物质反应以在含水液体中分解水。碱或酸的浓度实质上是可变的，可以从非常稀的溶液到非常浓的溶液。通常，浓度范围从大约0.1 M至大约10 M、更特别地从大约4 M到大约10 M，例如氢氧化钠水溶液。适合的分解引发物质的例子包括铝、钠和铝的合金（诸如2001年6月19日提交的美国专

利申请No.09/885776中所述的，其全文引用在此作为参考）、铁、锌、钠、碱金属和碱土金属氢化物等等。

下面的详细描述用于说明而不是限制所附权利要求，其涉及了碱金属氢氧化物和一些金属反应分解水。更特别地，说明涉及了碱金属氢氧化物、氢氧化钠和铝之间的反应。本领域的技术人员应理解如下所述的技术可用于其它含水液体和分解引发物质的反应体系，条件是这些体系反应分解水并放出氢气。

虽然不希望囿于任何理论，但是认为氢氧化钠水溶液和铝之间的总反应可总结如下：



10 不希望囿于理论，认为氢气产生的真实机理比总反应所显示的更为复杂。纯铝或任何市场上可买到的铝合金当暴露于环境中时会在金属的所有暴露表面上形成氧化铝薄膜层 (Al_2O_3)。这种氧化物膜赋予金属高耐腐蚀性。当浸于氢氧化钠 (NaOH) 含水液体中时，氧化物层与氢氧化物反应，转化为铝酸钠 (NaAlO_2)，其可溶于溶液中，并且从铝的表面被除去。然后纯铝金属暴露，
15 并与可利用的水反应，形成铝的氧化物或氢氧化物，放出氢气。反应的速度根据氢氧化钠溶液的浓度变化。如图 5 所示，其表示了在 70°F (曲线 A) 和在 64.78°F (曲线 B) 反应速率随氢氧化钠浓度的变化。

20 反应速率还随体系的温度变化，如图 6 (表示对于 40 wt% 氢氧化钠溶液反应速率随温度的变化) 和图 7 (表示对于 60 wt% 氢氧化钠溶液反应速率随温度的变化) 所示。反应速率随暴露于溶液的铝的表面面积变化，这在本发明中用来控制反应速度；反应速度也随反应物所受的压力变化。考虑到这些参数，得出了下述方法，实现了在特定压力下无需提供额外的能量产生单位时间特定体积氢气的目的。

25 本发明的一个实施方案中，如图 1 图解所示，分解反应可通过调节喷洒在金属铝上含水液体的量调节。

在这个实施方案中，化学计算量的氢氧化钠粉末和铝小球或者小块混合并加入反应器。通常优选使用更大尺寸的铝小球而不是铝粉以便更好地控制反应。虽然铝粉提供了更大的表面积，会产生更快的反应，但是这经常是不希望的，因为反应过于强烈，产生了太多的热，并且使生成氢气增加了爆炸的危险。
30 一旦将反应物加入反应器并且将反应器密封，就将水从储罐注入反应器并且通过喷嘴喷到反应物上。水与氢氧化钠反应形成碱金属氢氧化物溶液。认为氢氧化钠溶液与铝反应形成氢气和钠铝氢氧化物。反应是放热的并且加热反应器内部的溶液。形成的钠-氢氧化铝可溶于热的碱溶液。因而，其溶于溶液并且从剩余的铝的表面被除去，这使其可有效进行进一步的反应。这克服了在如上所

述Werth的专利中可能会产生的在铁颗粒上形成氧化铁导致的限制。

当反应器内部压力到达预定值时，压力传动开关关掉水泵。剩余的水继续与氢氧化钠反应直至没有水再反应了。当压力降到预定值以下，补给水注入反应器，于是反应重新开始。氢气在预定压力通过止回阀进入冷凝器，在此冷凝5出水汽。然后通过止回阀进入储罐，由此调节其用于外部应用。体系的总压力通过用水泵将水加入反应器的频率和持续时间决定，后者通过设定在所需预定压力的压力传动开关控制。

在这个实施方案的特别的方面，如图1所示，化学计量比例的铝和氢氧化钠（1:5.13）加入反应器5，然后密封反应器。压力传动开关3设置到预定的所10需压力，例如约75 psig。启动体系，水泵10通过压力传动开关3起动，从蓄水池1抽水通过喷嘴11喷到反应器5中混合的反应物上。水溶解氢氧化钠粉末形成氢氧化钠溶液。氢氧化钠溶液与铝反应形成氢气和钠-氢氧化铝。继续反应直到设定的预定压力使压力传动开关3启动，从而关闭水泵10并停止水流。反应器5内部的溶液在短时间内继续分解水并形成氢气直到与铝接触的水耗尽。生15成的氢气在压力下从反应器5通过该止回阀2流如入冷凝器6。另一个止回阀2防止压力使气体进入该蓄水池1。在冷凝器6中，水从生成的氢气中冷凝出来，然后氢气进入贮罐7用于最终的用途。储存的高压氢气通过压力调节器8分配到最终的应用。压力计4显示反应器5和贮罐7的压力。冷凝水定期从冷凝器6通过阀9排干。

20 本发明这个实施方案的主要的优点是氢氧化钠和铝之间反应的控制是通过控制铝小球的尺寸和控制向体系间歇引入水。通过可控制的预设压力指示供水，将水以细雾递送到氢氧化物-铝混合物上，可以控制反应速率。加入反应器中的铝的总量可以与通过化学计算量的氢氧化钠反应。

在本发明的另一个实施方案中，反应容器内的压力可通过直接加压改变和25 铝接触的氢氧化钠溶液的液位来调节和含水液体接触的分解引发物质的表面面积。参照图2，用于本发明这个实施方案的设备包括反应容器1、溶液储罐13、化学品容器32、计量泵20、水罐19、冷凝器24和输出压力调节器26。应认为不是所有这些元件都是以控制方式生产氢气的设备所必须的。一些元件是任选的，其它的是必要的或仅在启动分解工艺过程或用于特定应用时所必需的。

30 反应容器1所示为两头封闭的圆筒压力容器，其它结构也可使用，只要它们能够容纳含水液体、放出气态氢并且耐压。反应器在顶部装配了多孔烧结金属过滤元件2并且在底部装配了多孔板3。烧结金属过滤器元件2允许气体通过并且有助于阻止任何液体或者固体颗粒通过。多孔板3用作铝23的支撑并且允许溶液通过并从反应器1下部的高压区域进出反应区域。压力传感器4是固定在

顶部集气区域。温度传感器5固定在较低的集气区域。液面传感器6, 7, 8是以特定的间隔固定在反应区，并且第四液面传感器9固定于刚好在多孔板3之下的反应器较低区域。反应器通过外部的管道10与冷凝器24进行留题交换，并与溶液储罐13通过外部的罐道11和电磁阀12进行流体交换。其也与溶液储罐通过外部的管道和电磁阀14进行流体交换。

溶液储罐13举例说明为圆筒形的压力容器，虽然也可以使用其它压力容器构造。其装有可移动的隔板，例如柔性隔膜29，将容器内部分隔成第一和第二隔室。第二隔室通过外部的管道和电磁阀15与大气联通。认为该隔板也可以是可伸缩的膜或可移动的活塞，或任何可用于膨胀和收缩两个区域的常规元件。
10 溶液储罐通过外部的管道和电磁阀12, 14在第一隔室的顶部和底部同反应容器进行液体交换，同化学容器32通过外部的管道18和电磁阀16进行液体交换。

化学容器32为圆筒形的压力容器，在顶部装有多孔烧结金属过滤元件30，通过外部的管道21连接到计量泵20。化学容器的较低部分装满氢氧化钠小球
31。计量泵20连接储水罐19。

15 冷凝器24是圆筒形的压力容器，通过外部的管道10连接到反应器，管道10几乎延伸到冷凝器的底部。其通过外部的管道25连接压力调节器26输出设备。冷凝器的下半部24充满氢氧化钠稀溶液27。同样，可使用其它构造形式。

止回阀22和23防止气体或液体从冷凝器24反流至反应容器1或者从溶液储罐13通过化学品容器32到计量泵20。

20 压力传感器4、温度传感器5和液面传感器6, 7, 8, 9, 17均电气连接（未显示）到外部程序控制器（未显示），后者将它们的输入信号转化为各种输出信息，以操作电磁阀12, 14, 15, 16。

在准备运行时对体系加载，将铝金属置于反应容器1的反应区。作为举例说明，分解引发物质是铝，更特别地是垂直间隙排列的许多铝板28，从而可使
25 溶液达到所有的裸露表面并且提供了使生成的氢气上升到反应器顶部的空间。铝可以是板、管、条、块、螺旋片、小球或者任何其它的形式，构造形式取决于所需的应用和氢气的制造标准以及要求的控制。化学容器32的底部装满氢氧化钠小球或者粉末31。利用电磁阀15和16的开启，隔板29上面的第二隔室接通大气，泵入氢氧化钠浓水溶液，其从外部混合源通过化学品容器进入溶液储罐
30 13，在第一隔室达到预定的液位，此处通过液面传感器17检测。然后关闭阀15和16。计量泵20接通储水罐19，储水罐然后注满水，体系准备完毕，可用于运行。

为了启动运行，电磁阀12和15开启。当溶液储罐加满，在液体和隔板29之间形成的轻微压力开始推动溶液通过电磁阀12进入反应器1。当液位达到液面

传感器9，电磁阀15关闭，电磁阀14开启，补偿反应器1和溶液储罐13的压力。剩余液体由于重力流向通过液面传感器6监测的预定液位，在该点电磁阀12关闭。

当溶液与铝板28接触，反应开始发生。除去铝上的薄氧化膜，铝与水反应
5 形成氧化物和氢氧化物，放出氢气。由于反应容器1内部形成压力，气体通过外部管道10流入冷凝器24，在此鼓泡通过稀氢氧化钠溶液27并容纳在冷凝器24中。反应器1和冷凝器24的压力在这一点上得到补偿。

当反应器1中的压力达到压力传感器4检测的预定标准时，电磁阀14关闭，
电磁阀12和15开启。启动电磁阀必须的压力取决于最终应用所需的氢气体积、
10 反应器的体积、存储器容器的体积以及其它因素，可以通过常规实验确定。可以预料，对于大多数的最终应用，该压力不会超过250 psig。

电磁阀的开启使隔板29扩张，导致溶液储罐13压力降低。反应容器1中的压力推动溶液通过外部的管道11进入溶液储罐。当反应容器1中的液位达到液面传感器9检测的水平，电磁阀12关闭。如果溶液储罐13中的液位尚未达到液面传感器17的水平，计量泵20打开，电磁阀16开启，水从储水罐19泵入含氢氧化钠31的化学容器32直到其达到液面传感器17的水平。此时，计量泵20关闭，电磁阀16关闭。当水穿透氢氧化钠31进入化学品容器32，其溶解了氢氧化钠，从而维持了工作水溶液的浓度。

在这一点上，设备是待用的，特定量的氢气在特定压力容纳于反应容器1
20 和冷凝器24中，通过压力调节器26进行释放应用。

当压力调节器26开启，其将氢气以特定的较低压力和特定的体积流速送至应用。当气体通过压力调节器26从冷凝器24放出，冷凝器压力成比例地下降。当冷凝器24压力下降，反应器1中较高的压力导致氢气通过外部管道10流入冷凝器24，从而也降低了反应容器1内的压力。当反应器1中的压力达到压力传感器检测的预定较低基准面时，电磁阀12和15开启，电磁阀14关闭，使得溶液从溶液储罐13流出，通过外部的管道11进入反应容器1。当反应容器内液面达到液面传感器9的标准，电磁阀15关闭，电磁阀14开启，使溶液从溶液储罐13流出进入反应容器1。当溶液达到液面传感器6检测标准时，电磁阀12关闭。当溶液接触铝板28，反应再次开始，生成另外的氢气。

30 该设备通常可改变尺寸以适应可能消费氢气的特定应用，因此铝28位于浓氢氧化钠溶液中的表面面积可能以比应用所需稍微更大的速度生成氢气。因为压力调节器26将氢气以比铝28预定表面面积生成氢气速度略低的速度送至应用，反应容器1和冷凝器24中的压力可能慢慢地增加。如果反应容器1和24内的压力达到压力传感器4检测的预定压力水平，可重复如上所述的循环。然而，

当气体从冷凝器24通过压力调节器26释放时，可能需要比较久的时间使反应容器1和冷凝器24内部压力达到预定的压力水平。由于该时间的增加，其它存在的因素必须被考虑到。

导致水分解放出氢气的反应本质上是放热的。作为产生热的结果，浓氢氧化钠溶液的温度上升。当溶液的温度增加时，反应以更快的速度发生，产生更多热并将溶液浓度升得更高。在这种提高的反应速度，铝28的表面区域暴露于较高温度的溶液，可能以比应用所需的速度更高的速度生产氢气。

为了控制该现象，当温度传感器5检出溶液的预定温度，电磁阀14关闭，电磁阀12和15开启，使反应容器内的溶液被压力推动，通过外部的管道11进入溶液储罐13。当反应容器1中的液面达到液面传感器7检测的水平时，电磁阀12和15关闭，电磁阀14开启。作为该操作的结果，铝28的较小表面区域暴露于浓氢氧化钠溶液。可是，因为溶液的温度升高，该减小的表面积生产氢气的速度可能与在较低温度下最初的表面积的相同。

如果反应器的压力需要较久时间达到预定的水平并开始上述循环，溶液的温度必然会继续上升，重复所述的循环，推动反应容器1中的溶液下降到液面传感器8的水平。再次，在该较高的温度，铝28减少的暴露于浓氢氧化钠溶液表面积，生产氢气的体积速度大约与在较低温度下最初表面积的相同。

在这个工艺过程期间，反应容器1和冷凝器24内的压力周期性地达到预定的水平，其引起反应容器1内溶液如前所述被压入溶液储罐13。可是，当反应容器内压力降低于预定水平时，溶液被允许流回反应容器1，达到液面传感器6, 7, 8检测所允许的水平，这是通过温度传感器5检测溶液温度确定的。用这样的方式，通过取决于溶液温度的浓氢氧化钠溶液中所暴露的铝28的特定表面积控制单位时间生成气体的量。

当重复这个循环时，溶液在送入和排出溶液储罐时会有些冷却。结果，反应容器1的溶液的输入可在液面传感器6, 7, 8之间变化，这取决于加入溶液的温度。

如果通过关闭压力调节器26切断送到应用的气体流，反应器1和冷凝器24内部的压力会达到预定的水平。然后溶液如上文所述被压入溶液储罐，设备再次变成待用的。在这一点上，在特定压力的特定量氢气可通过压力调节器26释放用于应用。

在反应期间形成的氧化物和氢氧化物通过多孔板3的孔落入反应器1较低的填充区域。这种情况的发生是由于副产物的相对密度，在各种的往复循环期间，溶液的运动也促进了它们的运动。一些副产物可转化为铝酸钠并溶入溶液。不溶的剩余物会沉淀到反应器1的较低填充区域或溶液储罐13的底部。这种残

余物保持了半流体状态，不会影响溶液在两个容器之间的运动。在反应期间消耗铝板28，它们逐渐地向下移动，总是停留在多孔板3的上表面上。

如上所述的控制方案适用于如上所述释放氢气的所有热-化学反应。无论含水液体是水或例如碱金属氢氧化物溶液或无机酸以及分解引发物质是例如5金属、化合物或氯化物，所述的控制方案适当地根据应用改变，可生产在特定压力的单位时间特定量的氢气而无需输入外部的能量。

作为金属铝和氢氧化钠水溶液的可替代物，可以将化学计量量的铝粉和氢氧化钠彻底地匀化，任选在加压和温和的加热下烧结形成混合物的圆柱体或者块。该圆柱或块可以放入反应容器1代替举例说明的铝金属28，浓氢氧化钠溶液10可被水代替省略化学容器32。当水与圆柱/块接触时，氢氧化钠并立即与铝反应，进行如前所述的相同反应。反应速率可以如上所述地控制。

如上所述，虽然在图2和上文所附描述中设备的组件表示为圆筒形压力容器，应认为本设备的各种的组件可以是任何尺寸和任何形状或者适合特定应用要求的构造形式。例如，如果在较小空间需要更大的铝表面面积，反应器可以15是图3所示的矩形（图3中的参数与图2中的相应）。或者，两个反应容器可以是如图4所示并联设置，溶液交替加入其中一个然后是另一个。同样，参数与图2中的相应。

还认为，在举例说明的情况下，即使溶液在反应器和溶液储罐之间的移动是通过各种容器内部的压差引起的，相同的溶液移动还可以使用外部的泵完成20和控制。这个实施方案在图8中用示意图举例说明，其中参数与图2中的相应。运行泵P-1可将溶液从19移动到反应器1，或者从反应器1移动到溶液储罐19。当阀V-1和V-3开启，阀V-2、V-4和V-5关闭，泵可将溶液从溶液储罐19抽出并泵送至反应器1。当阀V-1和V-3关闭，阀V-2、V-4和V-5开启，泵可将溶液从反应器1抽出并泵送至溶液储罐19。

25 无论恰当的信号来源于压力传感器4或者温度传感器5和液面传感器6、7、8、9，不是打开阀门让压力恰当地传送液体，而是打开泵P-1，并打开或关闭适当的阀V-1、V-2、V-3、V-4、V-5让液体适当地移动。

通过特定的实施方案已经描述本发明，本领域技术人员可认识到使用相同的30发明构思进行的各种改变也属于所附的权利要求或等同方法的范围。例如，倘若描绘的机械和物理控制可以按照说明完成，可按照该方案使用任何适合特定应用所需的尺寸和构造形式的结合。

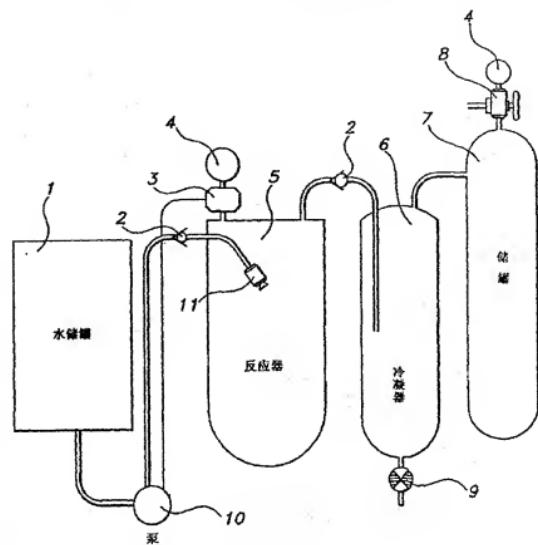


图 1

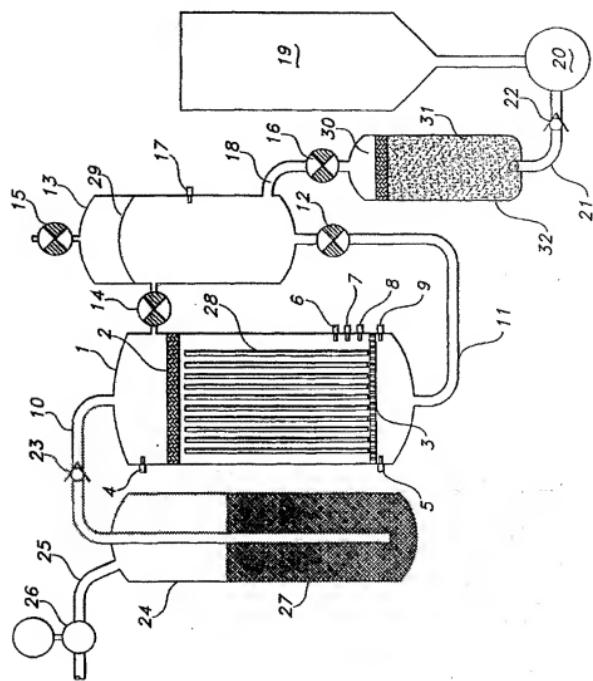


图 2

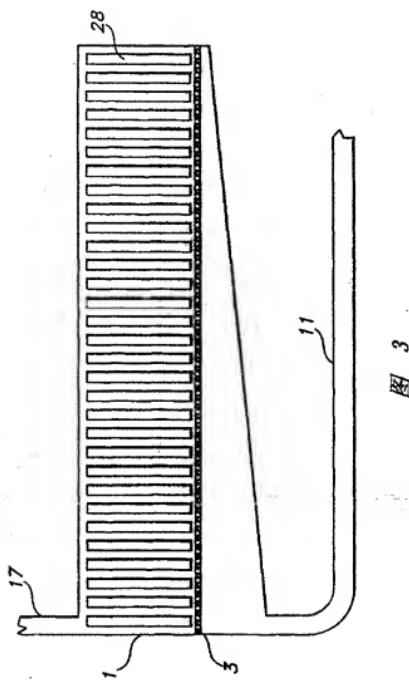


图 3

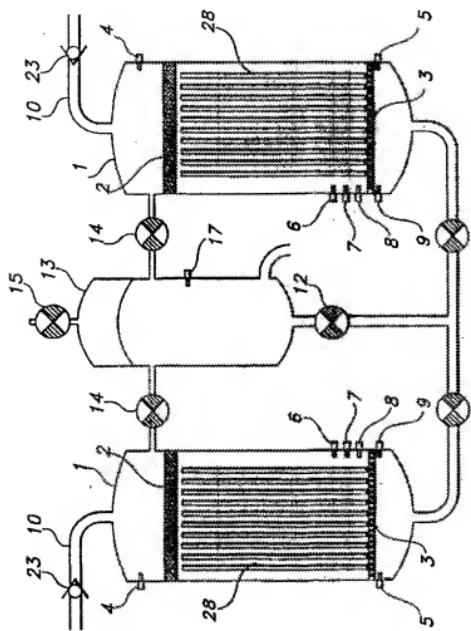
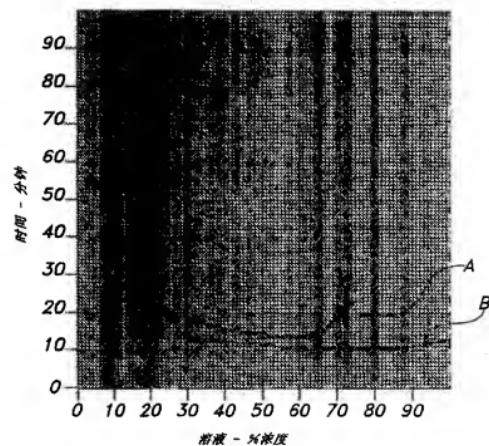


图 4

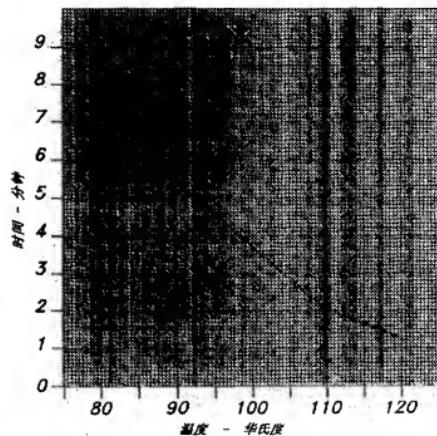
—— 30-70 % @ 70°F
—— 10-100 % @ 64.78°F



在不同溶液浓度下的反应速率

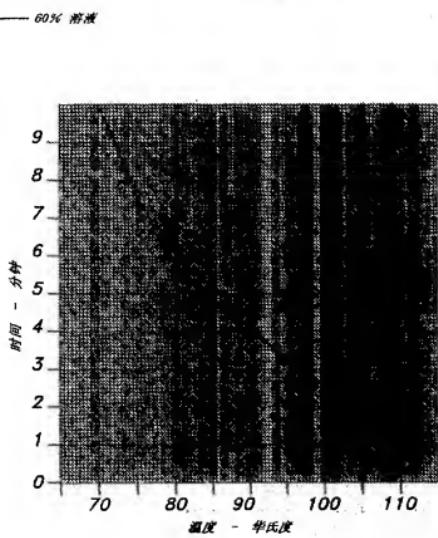
图 5

—— 40% 溶液



在不同溶液温度下的反应速率

图 6



在不同溶液温度下的反应速率

图 7

